

## Ginzburg-Landau 方程式による積層欠陥拡張の動力学解析

Simulation of Single Shockley stacking faults extention in 4H-SiC by Ginzburg Landau equation (株)東芝 研究開発センター<sup>1</sup>○加納明<sup>1</sup>, 牛流章弘<sup>1</sup>, 加藤光章<sup>1</sup>, 廣畑賢治<sup>1</sup>Toshiba R&D center<sup>1</sup>○A. Kano<sup>1</sup>, A. Goryu<sup>1</sup>, M. Kato<sup>1</sup>, K. Hirohata<sup>1</sup>

E-mail: akira.kano@toshiba.co.jp

はじめに: SiC バイポーラデバイスでは電流や熱、応力の影響を受け、Shockley 型積層欠陥 (SSF) が生成・拡張し電気特性が劣化する場合がある [1,2]. SSF の発生・拡張現象はホールと電子の再結合エネルギーやせん断応力によるモデルが提案されているが [3], SSF 生成・拡張現象の動的過程に電流密度・温度・応力が複合的に及ぼす現象モデリングも必要である. 本研究では、4H-SiC デバイスにおける SSF 生成・拡張現象を非平衡系の非線形動力学現象と捉え、時間依存 Ginzburg-Landau (GL) 方程式によりモデル化することを試みた.

手法: SSF の存在を状態変数とし、時間発展の動的モデルとして界面の易動度の異方性を考慮し、下記 GL 方程式を仮定した.

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = -M_{\phi\theta} \frac{\delta F}{\delta \phi} \quad (1)$$

$$F = \int_{\Omega} (f_{cryst} + f_{grad} + f_{ssf} + f_{chem} + f_{elast}) dx$$

$f_{cryst}$ ,  $f_{grad}$ ,  $f_{ssf}$ ,  $f_{elast}$ ,  $f_{chem}$  は、それぞれ結晶学的エネルギー、勾配エネルギー、積層欠陥エネルギー、弾性ひずみエネルギー、ケミカルポテンシャルに対応する. 転位を定義する方法として、転位が滑った領域にバーガスベクトルの大きさの変位を与えた. 電子・ホールのケミカルポテンシャルを以下の式を用い導出した.

$$\mu = \mu_n + \mu_p \quad (2)$$

$$\mu_n = \int_{\Omega} \int_{E_i}^{\infty} (E - E_i) D_c(E) F_n(E) dE dx = \int_{\Omega} n \left\{ E_c - E_i + \frac{3}{2} k_B T \right\} dx$$

$$\mu_p = \int_{\Omega} \int_{-\infty}^{E_i} (E_i - E) D_v(E) F_p(E) dE dx = \int_{\Omega} p \left\{ E_i - E_v + \frac{3}{2} k_B T \right\} dx$$

ここで、 $n, p$  は、それぞれ電子、ホールの濃度を表し、 $E_c, E_i, E_v$  は、それぞれ伝導帯、価電子帯、真性半導体のバンド中央を表す.  $n, p$  は、それぞれ、TCAD デバイスシミュレータ [4] の解析結果から求めた.

結果: TCAD による解析結果を図 1 に、(2)式より求めたケミカルポテンシャルと GL モデ

ルによる解析結果を図 2 に示す. SSF の拡張現象において、応力・電流密度・温度依存による複合的な動的過程を表現できていると考えられる.

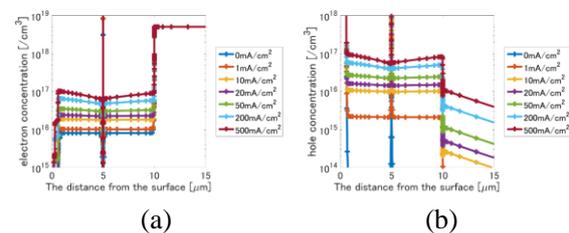


Fig.1 Result of TCAD for (a) electron, and (b) hole concentration analysis in 4H-SiC including SSF.

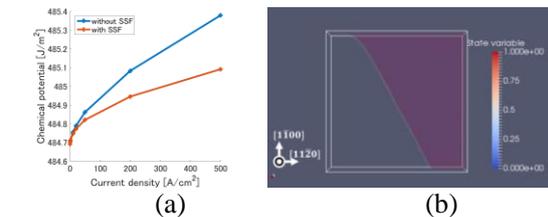


Fig.2 (a) Chemical potential by Eq.(2). (b) Result of GL model.

## 参考文献

- [1] 牛流, ほか, 2017 年応用物理学会秋季学術講演大会予稿集, 6p-A201-5
- [2] 岡田葵, ほか, 先進パワー半導体分科会第 3 回講演会予稿集, pp.138-139.
- [3] M. Skowronski, *et.al.*, J. Appl. Phys., 99, 011101(2006).
- [4] M. Kazuya, *et al.* Solid-State Electronics, 46.5 (2002), 747-751.

謝辞: 本研究の一部は、総合科学技術・イノベーション会議の SIP「次世代パワーエレクトロニクス/SiC 次世代パワーエレクトロニクスの統合的研究開発」(管理法人: NEDO) によって実施された. 東芝メモリ (株) 松澤氏には、ケミカルポテンシャルの導出に対して、また大阪大学渋谷教授、東京大学泉教授には六方晶の積層欠陥についてご助言いただき感謝いたします.